

UDK 528.236:514.14:514.75:528.33:528.44(497.5)

Izvorni znanstveni članak

Transformacija koordinata iz Krimskog sustava na području Istre u Gauss-Krügerovu projekciju

Nedjeljko FRANČULA, Miljenko LAPAINE – Zagreb*

SAŽETAK. Krimski koordinatni sustav jedan je od starih koordinatnih sustava u kojima je u 19. stoljeću izvedena izmjera i izrađeni su katastarski planovi na području današnje Hrvatske. Za transformaciju koordinata iz Krimskog sustava na području Istre u Gauss-Krügerovu projekciju izračunati su, na osnovi 36 identičnih trigonometrijskih točaka, parametri afine transformacije za 11 polja. Izračunati su i parametri jedinstvene afine transformacije za cijelo područje Istre. S parametrima izračunatima na oba načina transformirane su koordinate određenoga broja točaka iz Krimskoga sustava u Gauss-Krügerovu projekciju. Samo u 14 točaka s ruba područja transformacije razlike su veće od 2 m.

Ključne riječi: afina transformacija, Krimski sustav, Gauss-Krügerova projekcija, Istra.

1. Uvod

Krimski koordinatni sustav jedan je od starih koordinatnih sustava u kojima je u 19. stoljeću izvedena izmjera i izrađeni su katastarski planovi na području današnje Hrvatske. Osnovni podaci o tim sustavima mogu se naći u geodetskoj literaturi (vidi Lapaine, Frančula, 1990). Detaljnije o Krimskom sustavu pisao je Klarič (1975).

Katastarski planovi starih sustava još su i danas u svakidašnjoj upotrebi pa je često potrebno transformirati koordinate između tih starih sustava i sustava Gauss-Krügerove projekcije. I o toj problematici postoji veći broj radova (vidi Lapaine, Frančula, 1990).

Katastarski operati starih izmjera sadrže golemo bogatstvo informacija koje mogu poslužiti kao osnova za raznovrsna znanstvena istraživanja. Oni čine osnovu za različite povijesno-topografske prikaze i povijesno-geografske strukturne analize,

* Prof. dr. sc. Nedjeljko Frančula, prof. dr. sc. Miljenko Lapaine, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, email: nfrancul@geof.hr, mlapaine@geof.hr.

za analize prostiranja poljoprivrednog zemljišta različitih kultura, za analize razvoja naselja i slično (Kretschmer, 1974).

Danas u doba sve veće primjene računalno podržane izrade karata znatno je povećana mogućnost prenošenja podataka s katastarskih planova starih izmjera na planove i karte različitih mjerila i projekcija.

2. Transformacija koordinata između koordinatnih sustava

Budući da geodetski datumi Krimskog sustava i naše današnje trigonometrijske mreže nisu isti i da je riječ o nehomogenim mrežama, za potrebe katastra jedini je način transformacije koordinata iz Krimskoga sustava u Gauss-Krügerovu projekciju transformacija s pomoću određenog broja identičnih točaka.

Kada je riječ o transformaciji sadržaja katastarskih planova, za identične točke treba uzeti točke detaljne izmjere. S planova u Krimskom sustavu očitaju se koordinate u proizvoljnom lokalnom sustavu (npr. u lokalnom sustavu digitalizatora) određenog broja točaka za koje se pretpostavlja da ih je i danas moguće identificirati na terenu. Izmjerom tih točaka na terenu s postojeće trigonometrijske i poligonske mreže dobit će se njihove Gauss-Krügerove koordinate.

Na taj način, za svaki list mjerila 1:2880 određuju u Austriji oko 30 identičnih točaka. Ako se u postupku transformacije pokaže da nekoliko točaka nije identično, one se izostavljaju, a postupak računanja parametara transformacije ponavlja se sve dok odstupanja svih preostalih točaka ne budu unutar određene granice, npr. 2 m. Ako većina od 30 točaka ne zadovoljava taj kriterij, riječ je o nehomogenom listu i bez dodatnih terenskih radova sadržaj takvoga lista nije moguće transformirati u Gauss-Krügerovu projekciju (Höllrigel, 1971). Opisani postupak, i kad je riječ o homogenim listovima, prilično je skup i dugotrajan.

Drugi je način brži i jeftiniji, da se parametri transformacije odrede iz identičnih trigonometrijskih točaka u oba sustava. Identične točke obično su točke viših redova – crkveni tornjevi. Iskustva u transformaciji Kloštar-Ivaničkog i Budimpeštanskog sustava pokazuju da u većini slučajeva nije moguće formirati polja transformacije manja od 30×30 km, ako se želi kontinuirano pokriti neko veće područje (Borčić, Frančula, 1969).

2.1 Identične točke

U publikaciji (Borčić, Frančula, 1969) nisu objavljeni parametri za transformaciju između Krimskoga sustava i Gauss-Krügerove projekcije, jer nismo raspolagali koordinatama točaka u Krimskom sustavu. Naknadno smo iz Trsta od *Ufficio tecnico erariale di Trieste* dobili popis koordinata Krimskoga sustava, koji sadrži koordinate za ukupno 566 trigonometrijskih točaka. Sve su točke svrstane po područjima u ovih deset skupina: Postojna, Trst, Volosko-Opatija, Pazin, Labin, Pula, Cres, Senj (Rab), Lošinj (otok) i Lošinj. Sve točke na području Hrvatske kartirali smo u mjerilu 1:100 000. Preklapanjem s preglednim kartama naše trigonometrijske mreže utvrdili smo koje bi točke mogle biti identične. Uspoređivanjem duljina strana izračunatih iz koordinata u oba sustava pronašli smo 36 identičnih točaka (Lapaine, Frančula, 1990).

2.2 Afine transformacije formiranjem 11 polja na području Istre

Za izbor načina transformacije postoji veliki broj mogućnosti. U geodeziji i kartografiji veliku primjenu ima afina transformacija ravnine na ravninu. Ona se može doživjeti i kao aproksimacija proizvoljne funkcije, a bit će to bolja što je manje područje obuhvaćeno za transformaciju. To je svakako opravdanje da se pri transformaciji većih područja ona dijele na manje dijelove (polja) i na svakom od njih zasebno određuju parametri transformacije.

Afina transformacija obično se zapisuje u obliku:

$$\begin{aligned}y' &= a_1(y - y_0) + b_1(x - x_0) + y'_0 \\x' &= a_2(y - y_0) + b_2(x - x_0) + x'_0,\end{aligned}$$

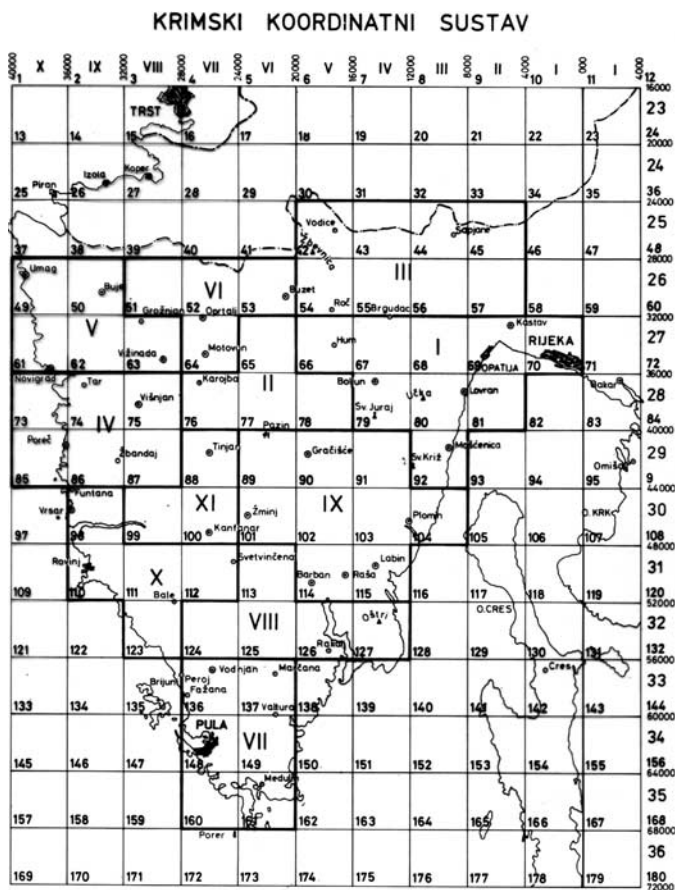
gdje su (y, x) koordinate točke u prvom sustavu, (y', x') koordinate transformirane točke, $a_1, b_1, a_2, b_2, y'_0, x'_0$ parametri transformacije te y_0 i x_0 unaprijed zadane konstante (Lapaine, Frančula, 1994).

Sukladno usvojenom postupku u određivanju parametara za transformaciju koordinata iz Budimpeštanskog i Kloštar-Ivaničkog sustava u Gauss-Krügerovu projekciju (Borčić, Frančula, 1969) cijelo područje Istre podijeljeno je na 11 polja (slika 1), a parametri afine transformacije za svako pojedino polje određeni su primjenom metode najmanjih kvadrata. Uz parametre transformacije u tablici 1 za svako su polje dani broj identičnih točaka i standardno odstupanje točaka nakon transformacije. Za transformaciju točaka na manjim dijelovima Istre izvan navedenih polja mogu se primijeniti parametri transformacije najbližeg polja.

Tablica 1. *Parametri za transformaciju iz Krimskoga sustava u Gauss-Krügerovu projekciju, broj identičnih točaka i standardno odstupanje točaka nakon transformacije s.*

Polja	a_1 a_2	b_1 b_2	y_0 x_0	y'_0 x'_0	Broj iden. točaka	s [m]
I	-1,8964757 0,0118063	-0,0117255 -1,8963961	3000,00 30000,00	5453298,80 5030427,88	5	0,60
II	-1,8965701 0,0116296	-0,0116671 -1,8965348	14000,00 30000,00	5432437,91 5030558,77	4	0,68
III	-1,8965291 0,0118482	-0,0117199 -1,8964097	3000,00 26000,00	5453346,00 5038013,07	5	0,67
IV	-1,8965500 0,0117163	-0,0114944 -1,8964536	24000,00 36000,00	5413401,56 5019295,45	5	0,52
V	-1,8964939 0,0117939	-0,0115135 -1,8965330	26000,00 28000,00	5409700,36 5034490,67	6	0,57
VI	-1,8966988 0,0117465	-0,0116185 -1,8967364	18000,00 27000,00	5424887,05 5036295,03	6	0,67

Polja	a_1 a_2	b_1 b_2	y_0 x_0	y_0' x_0'	Broj iden. točaka	s [m]
VII	-1,8961602 0,0116282	-0,0115427 -1,8961984	21000,00 56000,00	5418860,80 4981334,58	5	0,72
VIII	-1,8963403 0,0115523	-0,0113946 -1,8961986	14000,00 49000,00	5432215,62 4994527,69	7	0,46
IX	-1,8964461 0,0116359	-0,0115436 -1,8962275	11000,00 41000,00	5437998,12 5009662,05	5	0,39
X	-1,8963464 0,0116346	-0,0113080 -1,8961952	24000,00 44000,00	5413308,48 5004123,72	4	0,52
XI	-1,8964836 0,0115107	-0,0114683 -1,8963773	24000,00 41000,00	5413343,88 5009814,06	6	0,33



Slika 1. Područje Istre podijeljeno na polja zasebnih parametara afine transformacije.

Na području Istre ima osam točaka koje su granične za tri ili više polja (slika 1). U tablici 2 dan je pregledni prikaz maksimalnih odstupanja između transformiranih točaka dobivenih s pomoću odgovarajućih, različitih, afinih transformacija pripadnih polja. To je vrlo dobar pokazatelj točnosti transformacije.

Tablica 2. *Maksimalna odstupanja za točke koje graniče s tri ili više polja.*

Ime točke	Broj polja	$\Delta y'$ [m]	$\Delta x'$ [m]
54	I, II, III, VI	0,87	1,19
64	II, IV, V, VI	0,67	0,51
76	II, IV, XI	0,15	0,26
77	II, IX, XI	0,52	0,89
79	I, II, IX	0,84	0,94
87	IV, X, XI	0,51	0,75
101	VIII, IX, X; XI	0,36	0,79
124	VII, VIII, X	0,58	0,11

2.3 Jedinstvena afina transformacija za područje Istre

Podjela nekog područja na manje dijelove znači da će na svakom takvom dijelu biti manji broj točaka na raspolaganju, što znači da se može očekivati i veća nesigurnost određivanja parametara transformacije. Osim toga duž zajedničke linije dvaju susjednih polja općenito dolazi do izvjesnog neslaganja između pripadnih transformacija (vidi tablica 2). Odlučili smo stoga odrediti parametre za jedinstvenu afinu transformaciju cijelog područja Istre. Iz 36 identičnih točaka dobili smo za jedinstvenu afinu transformaciju područja Istre iz Krimskoga sustava u Gauss-Krügerovu projekciju ove vrijednosti parametara (Barković, 1988):

$$\begin{aligned}
 a_1 &= 1,89653603 & b_1 &= -0,01151324 \\
 a_2 &= 0,01168786 & b_2 &= -1,89634066 \\
 y_0 &= 23699,56 & x_0 &= 42368,38 \\
 y'_0 &= 5413898,48 & x'_0 &= 5007215,95
 \end{aligned}$$

S tim parametrima transformirali smo iz Krimskoga sustava u Gauss-Krügerovu projekciju sve točke temeljnih triangulacijskih sekcija unutar 11 polja transformacije (slika 1). U tablici 3 dan je popis točaka za koje su razlike između tako dobivenih koordinata (nulto polje) i koordinata jednog od 11 polja veće od 2 m. Može se uočiti da su to točke s ruba područja transformacije.

Tablica 3. *Razlike koordinata između nultog polja i jednog od 11 polja veće od 2 m.*

Ime točke	$\Delta y'$	$\Delta x'$
30	2,14	1,89
31	2,10	1,25
32	2,08	0,61
33	2,05	0,04
34	2,02	0,67
86	0,86	2,27
87	0,42	2,06
93	2,21	0,98
110	2,49	1,12
116	2,11	1,61
123	2,55	0,32
124	2,08	0,10
128	1,64	2,18
162	1,28	2,14

3. Zaključak

Ako iz Krimskoga sustava treba u Gauss-Krügerovu projekciju transformirati neko manje područje, tada se preporuča primjena parametara transformacije jednog od 11 polja. Ako je riječ o transformaciji većega područja, koje se prostire preko više polja transformacije, ili o transformaciji cijeloga područja Istre, tada se može preporučiti primjena parametara tzv. nultog polja.

Literatura

- Barković, Đ. (1988): Afina transformacija između Krimskog koordinatnog sustava na području Istre i sustava Gauss-Krügerove projekcije. Diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Borčić, B., Frančula, N. (1969): Stari koordinatni sustavi na području SR Hrvatske i njihova transformacija u sustave Gauss-Krügerove projekcije. Zavod za kartografiju Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Höllrigel, F. (1971): Die Umbildung der Österreichischen Katastralmapen mit EDV. Vermessungsmagazin 2, 23-28.

- Klarič, M. (1975): Koordinatni sistemi v SR Sloveniji. Geodetski vestnik 4, 19-31.
- Kretschmer, I. (1974): Die Entwicklung der Österreichischen Katastralmapen und ihre Bedeutung für Geographie. Mitteilungen der Österreichischen geographischen Gesellschaft 1-2, 206-218.
- Lapaine, M., Frančula, N. (1990): Prilog ocjeni točnosti pri afinoj transformaciji. Save-tovanje Katastar nepokretnosti, SGIGJ, Ilidža-Sarajevo, 63-76.
- Lapaine, M., Frančula, N. (1994): Osvrt na afinu transformaciju. Geodetski list 2, 159-168.

Transformation of Coordinates from the Krim System in the area of Istria to the Gauss-Krüger Projection

Abstract. The Krim coordinate system is one of the old systems, which was used in the 19th century for survey and production of cadastral plans on the territory of today's Croatia. Parameters of affine transformation for 11 fields were calculated on the basis of 36 identical trigonometric points for the transformation of coordinates from the Krim system in the area of Istria to Gauss-Krüger projection. Parameters of a unique affine transformation for the whole area of Istria were also calculated. Parameters calculated in both ways were used to transform coordinates of a certain number of points from the Krim system to the Gauss-Krüger projection. Differences larger than 2 m are found in only 14 points at the edge of the transformation area.

Key words: affine transformation, Krim system, Gauss-Krüger projection, Istria.

Prihvaćeno: 2007-09-03